

Crecimiento e indicadores morfológicos de posturas de *Enterolobium contortisiliquum* y *Leucaena leucocephala* producidas en diferentes sustratos

Jatnel Alonso Lazo, Mariana Ferreira Rabelo Fernandes¹, Matheus Sales Nogueira e Silva¹, Fillipe de Souza Ramos¹, Iago Thomaz do Rosario Vieira¹, Leonardo David Tuffi Santos¹ y Regynaldo Arruda Sampaio¹

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba
jalonso@ica.co.cu

¹ Universidad Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciencias Agrarias, Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros, MG, Brasil

Resumen

El objetivo fue evaluar sustratos que contenían lodo de alcantarilla y estiércol vacuno en la producción de posturas de leguminosas arbóreas. Los tratamientos fueron constituidos por diferentes proporciones de suelo arcilloso, suelo arenoso, estiércol vacuno y lodo asociados a la aplicación de fertilizantes minerales (Superfosfato simple y KCl), además de un tratamiento con sustrato comercial Bioplant como testigo. Cada una de las especies (*Enterolobium contortisiliquum* y *Leucaena leucocephala*) constituyeron experimentos independientes utilizando un diseño en bloques al azar con 3 y 4 réplica, respectivamente. En ambas especies se determinó el índice de velocidad de emergencia (IVE). En *E. contortisiliquum* se realizaron mediciones fisiológicas y morfológicas al momento del trasplante mientras que en *L. leucocephala*, a partir de los 100 días después de la siembra, se evaluaron los indicadores morfológicos altura de la planta y diámetro del tallo y calculado el índice de robustez de la postura. El IVE sólo mostró diferencias ($P=0.0017$) entre los sustratos en la especie *L. leucocephala* con el mayor valor (3,73) en el tratamiento con la proporción 3: 1: 0: 1 + SS + KCL que no difirió del testigo (3,25). En *E. contortisiliquum* este índice varió entre 6,32 y 7,42 con $P=0.5912$. Los indicadores fisiológicos y morfológicos en *E. contortisiliquum* no fueron influenciados por los sustratos estudiados y mostraron valores similares al testigo. La altura de la planta y el diámetro del tallo en *L. leucocephala* tuvieron valores entre 7,47 y 9,44 cm y 2,46 y 3,52 mm al final del periodo experimental. La tasa de crecimiento medio de estos indicadores y el índice de robustez de las posturas fueron similares en todos los tratamientos. Se concluye la posibilidad de utilización del lodo de alcantarilla y el estiércol bovino para la producción de posturas de *E. contortisiliquum* y se recomiendan estudios que estimulen el incremento de las tasas de crecimiento de las posturas de *L. leucocephala*.

Palabras clave: producción de posturas, características físico-químicas de sustratos, fuentes orgánica

Growth and morphological indicators of seedlings of *Enterolobium contortisiliquum* and *Leucaena leucocephala* produced in different substrates

Abstract

The objective was to evaluate substrates containing sewage sludge and cow dung in the production of tree leguminous stands. The treatments were constituted by different proportions of clay soil, sandy soil, cow dung and mud associated with the application of mineral fertilizers (Superphosphate simple and KCl), in addition to a treatment with commercial substrate Bioplant as a control. Each of the species (*Enterolobium contortisiliquum* and *Leucaena leucocephala*) constituted independent experiments using a randomized block design with 3 and 4 replicates, respectively. In both species, the emergency speed index (EVI) was determined. In *E. contortisiliquum*, physiological and morphological measurements were made at the time of transplantation, while in *L. leucocephala*, from 100 days after planting, the morphological indicators of plant height and stem diameter were evaluated and the index robustness of the posture was calculated. The IVE only showed differences ($P = 0.0017$) between the substrates in the species *L. leucocephala* with the highest value (3.73) in the treatment with the ratio 3: 1: 0: 1 + SS + KCL that did not differ from the control (3.25). In

E. contortisiliquum this index varied between 6.32 and 7.42 with $P = 0.5912$. The physiological and morphological indicators in *E. contortisiliquum* were not influenced by the substrates showing similar values to the control. The height of the plant and the stem diameter in *L. leucocephala* had values between 7.47 and 9.44 cm and 2.46 and 3.52 mm at the end of the experimental period. The average growth rate of these indicators and the robustness index of the positions were similar in all treatments. We conclude the possibility of using sewer sludge and bovine manure for the production of *E. contortisiliquum* postures and studies are recommended that stimulate the growth rates of *L. leucocephala* postures.

Keywords: production of postures, physical-chemical characteristics of substrates, organic sources

Introducción

Los sistemas silvopastoriles para la producción animal, además de ser una necesidad imperiosa para disminuir el impacto ambiental generado por la ganadería (Charles et al 2018), se destacan como una alternativa viable y sostenible para la producción animal en los trópicos (Murgueitio et al 2016). Diversas experiencias muestran su capacidad para mejorar el desempeño de las áreas ganaderas mediante el aumento y diversificación de sus producciones (Alvarenga et al 2012).

Las leguminosas arbóreas, en esta forma de producción, se visualizan como componente multipropósito dentro del sistema, debido a su capacidad eficiente en el reciclaje de nutrientes (Calle et al 2014), incrementos en la productividad de los pastos asociados (Murgueitio et al 2015; Gaviria et al 2015) e incrementos en la fertilidad de los suelos (Chará et al 2015). Otros autores destacan la potencialidad de los sistemas integrados con leguminosas arbóreas para desarrollar tecnologías que, además de beneficiar a la producción de biomasa, puedan generar servicios ambientales (Torres et al 2017; Murgueitio et al 2014; Alonso 2011).

La producción de posturas de especies de leguminosas, para su plantación y establecimiento en asociación con gramíneas para pastoreo, puede considerarse una vía para disminuir los tiempos y los costos en la etapa inicial de implementación del sistema. Con ella es posible el desarrollo de una planta con calidad y capacidad para soportar la competencia interespecífica e intra-específica que ocurre entre los componentes del sistema.

El sustrato utilizado en la producción de posturas necesita reunir características que promuevan la retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, de modo que atiendan a las necesidades de la planta. Nobrega et al (2017) plantean que el lodo de alcantarilla estabilizado y el estiércol bovino, como fuentes de materia orgánica, ofrecen a los cultivos condiciones favorables para su desarrollo pues poseen macro y micro nutrientes esenciales en su composición.

Debido al amplio uso de las leguminosas *Enterolobium contortisiliquum* y *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y su lento crecimiento en la etapa inicial de establecimiento con el uso de la siembra directa el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento inicial, la fisiología y la calidad de las posturas de estas especies producidas en sustratos que contenían lodo de alcantarilla estabilizada, estiércol bovino y fertilizante mineral.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se condujo en el Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais (ICA / UFMG), en Montes Claros, MG-Brasil, referenciado en los 16,72 ° de latitud sur y 43,87 ° de longitud oeste a 647,2 m de altitud. El clima, tropical de sabana con inviernos secos, se clasifica Aw, según Köppen (1936).

Especies, tratamientos y diseño experimental

Las especies evaluadas fueron *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. (figura 1). Las semillas de *E. contortisiliquum* fueron adquiridas a través del Instituto Estatal de Bosques (IEF) y las semillas de *L. leucocephala* disponibilizadas por el grupo de plantas dañinas del ICA/UFMG. No se utilizó ningún método de escarificación para romper la dormancia de la semilla antes de la siembra, ya que ambas especies presentaron porcentajes de germinación superior al 65 %.



Figura 1. Especies evaluadas. *Enterolobium contortisiliquum* (A) y *Leucaena leucocephala* (B)

Los tratamientos (sustratos) se elaboraron a partir de dos tipos de suelos, lodo de alcantarilla y estiércol bovino, asociados a la aplicación de fertilizantes mineral, además del sustrato comercial Bioplant Plus el cual es elaborado a partir de turba de sphagnum, fibra de coco, cáscara de arroz, cáscara de pino y vermiculita (Tabla 1). Cada especie fue evaluada en experimentos independientes y en ambos casos se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro réplicas.

Tabla 1. Materiales empleados y su proporción en relación al volumen y cantidad de fertilizantes químicos en la elaboración de los sustratos

Tratamientos	Tipo de Suelo	Arena	Estiércol bovino	Lodo de alcantarilla	Superfosfato simple	KCl
T ₁ (3:1:1:0+SS)	Arcilloso	x	x	-	1 kg/m ³	-
T ₂ (3:0:1:0+SS)	Arenoso	-	x	-	1 kg/m ³	-
T ₃ (3:1:0:1+SS)	Arcilloso	x	-	x	1 kg/m ³	-
T ₄ (3:0:0:1+SS)	Arenoso	-	-	x	1 kg/m ³	-
T ₅ (3:1:1:0+KCL)	Arcilloso	x	x	-	-	1 kg/m ³
T ₆ (3:0:1:0+KCL)	Arenoso	-	x	-	-	1 kg/m ³
T ₇ (3:1:0:1+KCL)	Arcilloso	x	-	x	-	1 kg/m ³
T ₈ (3:0:0:1+KCL)	Arenoso	-	-	x	-	1 kg/m ³
T ₉ (3:1:1:0+SS+KCL)	Arcilloso	x	x	-	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₀ (3:0:1:0+SS+KCL)	Arenoso	-	x	-	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₁ (3:1:0:1+SS+KCL)	Arcilloso	x	-	x	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₂ (3:0:0:1+SS+KCL)	Arenoso	-	-	x	1 kg/m ³	1 kg/m ³
T ₁₃ (Testigo)	Todo el volumen con sustrato comercial (Bioplant Plus)					

Procedimientos experimentales

El lodo de alcantarilla deshidratado, aprobado para su uso en diferentes actividades agrícolas por la resolución 375 de la CONAMA, se colectó en la Estación de Tratamiento de Esgoto (ETE) en Montes Claros después de tratamiento preliminar en reactor anaeróbico UASB y secado en deshidratadora hasta un 5% de humedad. La colecta del estiércol de ganado se hizo directamente en el corral de la hacienda experimental del ICA/UFMG.

La siembra se realizó en tubetes plásticos rígidos de 110 cm³ y 55 cm³ para *E. contortisiliquum* y *L. leucocephala*, respectivamente, dispuestos bajo telas de sombra con capacidad para retener el 30% de la luz solar. En cada tubete fueron colocadas de tres a cuatro semillas para garantizar al menos la emergencia de una planta en cada tubete. En los tubetes donde emergió más de una planta se realizó un raleo 15 días después de la siembra para dejar solamente una planta. Todas las plantas se colocaron a pleno sol 20 días después del raleo y el riego se realizó tres veces al día hasta capacidad de campo durante todo el experimento.

Las características físicas y las propiedades químicas (tabla 2) de los sustratos elaborados se obtuvieron en el laboratorio de residuos sólidos del ICA/UFMG según la metodología de Embrapa (1997) y se evaluó el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de retención de humedad (CRH), la densidad aparente (DA) y se estimó la porosidad total (PT).

Tabla 2. Atributos físicos y químicos de sustratos elaborados a partir de diferentes tipos de suelos y fuentes orgánicas

Tratamientos	Atributos de los sustratos				
	Químicos		Físicos		
	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	CRH (ml/g)	DA (g/cm^3)	PT (%)
3:1:1:0+SS	6,1	335,03	0,57	1,35	44,16
3:0:1:0+SS	6,8	313,23	0,50	1,41	39,61
3:1:0:1+SS	5,3	465,07	0,53	1,31	44,61
3:0:0:1+SS	5,2	457,80	0,45	1,39	44,12
3:1:1:0+KCL	6,1	501,53	0,53	1,27	48,74
3:0:1:0+KCL	7,0	513,47	0,50	1,39	42,05
3:1:0:1+KCL	5,7	456,30	0,50	1,36	44,36
3:0:0:1+KCL	5,6	431,13	0,48	1,44	38,46
3:1:1:0+SS+KCL	6,9	545,93	0,55	1,29	47,15
3:0:1:0+SS+KCL	7,1	519,10	0,50	1,43	42,07
3:1:0:1+SS+KCL	5,8	571,43	0,50	1,32	46,37
3:0:0:1+SS+KCL	5,5	558,40	0,45	1,42	42,77
Testigo	5,7	500,00	0,77	0,36	69,37

En ambas especies, después de la siembra y durante 22 días se determinó, en cada unidad experimental, el índice de velocidad de emergencia (IVE) de acuerdo con la metodología propuesta por Maguire (1962) utilizando la fórmula: $IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$, donde E1, E2, En... es el número de plantas emergidas en el primer, segundo y hasta el último conteo y N1, N2, Nn... es el número de días desde la siembra al primer, segundo y hasta el último conteo.

Al momento del trasplante, 90 días después de la siembra, en la especie *E contortisiliquum*, se realizaron las mediciones morfológicas: altura de la planta (A), midiendo el tallo desde su base a nivel del sustrato hasta el ápice de la planta con una regla milimetrada; diámetro del tallo (D), realizado a nivel del sustrato con la ayuda de un pie de rey de precisión de 0,05 mm; el número de ramas por planta; el número de hojas por planta, producción de materia seca total (PMST), producción de materia seca de la parte aérea (PMSPA), peso de la materia seca de las raíces (PMSR), volumen de la raíz y el índice de calidad de Dickson (Dickson et al 1960) conforme la ecuación:

$$IQD = PMST / (H/D + PMSPA/PMSR)$$

Donde:

IQD = Índice de calidad de Dickson;

PMST = Producción de materia seca total (g);

H = Altura de la parte aérea (cm);

D = Diámetro del tallo (mm);

PMSPA = Peso de la materia seca de la parte aérea (g);

PMSR = Peso de la materia seca de las raíces (g).

Las hojas, tallos y raíces fueron pesados en balanza de precisión para obtener su masa fresca. Antes del pesaje de la raíz, estas fueron lavadas en una pila de agua con baja presión en coladores de 5 mm para evitar pérdidas y posteriormente secadas con papel toalla. La masa seca de las hojas, tallos, y raíces se determinó después de secado en estufa a 65°C hasta peso constante. Las observaciones fisiológicas fueron realizadas con un medidor portátil LI-6400 (Li-Cor Inc Nebraska, USA). Se utilizó la tercera hoja completa del ápice a la base y se determinó la tasa de fotosíntesis líquida por unidad de área foliar (A), la conductancia estomática al vapor de agua (gs), la tasa transpiratoria de la hoja (E) y la temperatura de la hoja (TH).

Para la especie *L leucocephala*, 100 días después de la siembra, fueron evaluados con una frecuencia semanal los indicadores morfológicos altura de la planta (A) y diámetro del tallo (DT) utilizando la misma metodología que para *E contortisiliquum*. En cada momento fue calculado el índice de robustez de la postura (Carneiro 1995) según la relación (A/DT) y al final del trabajo se calculó el crecimiento medio diario para ambos indicadores adaptando la metodología propuesta por (Giménez et al 2013) quienes señalan que el

mismo resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución.

Procesamiento estadístico

Los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad y heterogeneidad (Shapiro and Wilk 1965) y los indicadores de conteo se transformaron según $X^{0,5}$. Se realizó análisis de varianza y en los casos necesarios se aplicó test Scott-Knott a 5% de probabilidad para la comparación de media. También fue realizado un análisis de correlación de Pearson entre los atributos de los sustratos y el índice de velocidad de emergencia (IVE).

Resultados

IVE sólo mostró diferencias ($p < 0,01$) entre los sustratos en la especie *L leucocephala*. Los valores más bajos (Tabla 3) se obtuvieron en los sustratos donde se utilizó el estiércol bovino como fuente de materia orgánica con valores entre 0,65 y 1,04. El mayor IVE para esta especie (3,73) correspondió al tratamiento con la proporción 3:1:0:1 + SS + KCL que no difirió del testigo (3,25). En *E contortisiliquum* los índices de velocidad de emergencia fueron altos (6,32-7,42) y no fueron influenciados por los tratamientos en estudio.

IVE de estas especies mostró baja correlación con los atributos físicos y químicos de los sustratos y la misma tuvo magnitudes diferentes según la especie (Tabla 4). De esta forma, la conductividad eléctrica (-0,50) y la porosidad total (-0,14) del sustrato se correlacionaron negativamente con el IVE de *E contortisiliquum* mientras que para *L leucocephala* el pH (-0,67) y la densidad aparente (-0,47) fueron los que mostraron una correlación negativa.

Tabla 3. Índice de velocidad de emergencia (IVE) de *L leucocephala* y *E contortisiliquum* producidas en sustratos a partir de diferentes tipos de suelos y fuentes orgánica

Tratamientos	<i>Leucaena</i>	<i>Enterolobium</i>
3:0:1:0+SS	0,90 ^b	7,43
3:1:0:1+SS	2,59 ^a	7,43
3:0:0:1+SS	2,13 ^a	6,44
3:1:1:0+KCL	1,04 ^b	7,06
3:0:1:0+KCL	0,85 ^b	6,35
3:1:0:1+KCL	2,06 ^a	6,40
3:0:0:1+KCL	2,03 ^a	6,84
3:1:1:0+SS+KCL	1,89 ^a	6,60
3:0:1:0+SS+KCL	0,65 ^b	7,06
3:1:0:1+SS+KCL	3,73 ^a	6,89
3:0:0:1+SS+KCL	2,17 ^a	6,32
Testigo	3,25 ^a	6,65
EE	0,50	0,36
<i>p</i>	0.0017	0.5912

Tabla 4. Correlación de Pearson entre el índice de velocidad de emergencia de las especies *E contortisiliquum* y *L leucocephala* y los atributos físicos y químicos de los sustratos

	pH	CRH	CE	DA	PT
IVE en <i>E contortisiliquum</i>	0,14	0,09	-0,50	0,09	-0,14
IVE en <i>L leucocephala</i>	-0,67	0,33	0,36	-0,47	0,50

Los indicadores fisiológicos y morfológicos evaluados en *E contortisiliquum* no fueron influenciados por los sustratos estudiados y mostraron valores similares al testigo. En el primer caso, la tasa fotosintética líquida (A), la conductividad estomática (gs), la eficiencia en el uso del agua (E) y la temperatura de la hoja (TH) mostraron valores que oscilaron entre 7,66 y 9,83 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); 0,19 y 0,28 ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); 1,27 y 2,51 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$) y 31,3 y 35,4 ($^{\circ} \text{C}$), respectivamente.

La caracterización morfológica mostró valores que variaron entre 13,89 y 17,67 cm para la altura de la planta; 3,43 y 4,55 mm para el diámetro del tallo; 4,23 y 5,33 para el número de ramas por planta; 19,27 y 23,63 para el número de hojas; 3,25 y 6,15 cm^3 para el volumen de raíz por planta y 0,26 y 0,59 para el índice de Dickson.

En *L. leucocephala* los tratamientos no influenciaron en los indicadores morfológicos altura de la planta y el diámetro del tallo. Estos indicadores, al final del periodo experimental, mostraron valores entre 7,47 y 9,44 cm y 2,46 y 3,52 mm, respectivamente. La tasa de crecimiento medio de ambos indicadores y el índice de robustez de las posturas a diferentes días después de la siembra (tabla 5) fueron similares en todos los tratamientos.

Tabla 5. Características morfológicas de posturas de *L. leucocephala* producidas en diferentes sustratos con lodo de alcantarilla y estiércol bovino

Tratamientos	Crecimiento medio diario		Índice de robustez de la postura (A/DT)			
	Altura (cm día ⁻¹)	Diámetro del tallo (mm día ⁻¹)	Días después de la siembra			
			100	107	114	121
3:1:1:0+SS	0,08	0,02	3,03	2,51	2,86	3,15
3:0:1:0+SS	0,07	0,03	3,06	3,02	3,14	3,10
3:1:0:1+SS	0,07	0,02	2,84	2,94	2,88	2,91
3:0:0:1+SS	0,06	0,03	2,59	2,55	2,45	2,44
3:1:1:0+KCL	0,07	0,02	3,43	3,18	2,98	3,27
3:0:1:0+KCL	0,07	0,02	3,02	3,03	2,78	2,86
3:1:0:1+KCL	0,07	0,02	3,17	3,24	3,09	3,11
3:0:0:1+KCL	0,07	0,03	2,95	2,71	2,64	2,49
3:1:1:0+SS+KCL	0,08	0,03	2,90	2,90	2,76	2,87
3:0:1:0+SS+KCL	0,08	0,02	3,43	3,28	2,94	5,20
3:1:0:1+SS+KCL	0,08	0,03	2,91	2,98	2,81	2,99
3:0:0:1+SS+KCL	0,07	0,03	2,75	2,81	2,53	2,59
Testigo	0,06	0,02	3,29	3,03	3,01	3,17
EE ±	0,01	0,001	0,21	0,20	0,17	0,57
P	0,1675	0,1340	0,1680	0,1912	0,1898	0,1834

Discusión

El análisis de las características físico química de los sustratos señala (Tabla 2) que el sustrato comercial presentó la mayor capacidad de retención de humedad (CRH). Los sustratos donde se utilizó suelo arcilloso tuvieron un comportamiento similar de este indicador, demostrando que la utilización de arena para la elaboración de sustrato con este tipo de suelo puede incidir directamente en la capacidad de retención de agua.

Castillo et al (2013) señalan que la porosidad es de vital importancia dentro de las características del sustrato, pues de ella depende la retención del agua (microporos) y la aireación (macroporos), lo cual tiene una influencia directa en el desarrollo del sistema radical y de la planta en su conjunto. Por su parte, al estudiar las características físicas y químicas de diferentes sustratos elaborados a partir de polvo de coco, residuos de sisal y suelos rojo arcilloso y amarillo distrófico Lacerda et al (2006) definieron, que los mejores sustratos fueron aquellos que mostraron entre el 40 y 60 % de porosidad total ya que favorecieron el desarrollo de la planta y fueron muy similares a los encontrados en este trabajo.

Las interacciones entre los factores que influyen en la germinación y en la emergencia de las semillas caracterizaron el índice de velocidad de emergencia de las especies en estudio. En este sentido Arraújo y Sobrinho (2011) señalaron que la capacidad de retención de agua y la cantidad de luz que el sustrato permite llegar a la semilla pueden provocar diferentes respuestas germinativas.

La capacidad de retención de humedad en todos los sustratos (tabla 2) estuvo dentro del rango adecuado para la emergencia de las semillas (Figliola et al 1993) lo que favoreció la oferta de agua para la germinación y el periodo de pre emergencia. La baja correlación encontrada entre el índice de velocidad de emergencia en ambas especies y la capacidad de retención de humedad puede ser atribuida a la capacidad de los sustratos para mantener agua en las proximidades de las semillas (Carvalho et al 2000). Estos autores señalaron este comportamiento como deseable para obtener uniformidad en la emergencia y el desarrollo de las posturas.

Las características intrínsecas que regulan el flujo de agua para las semillas, y definen el proceso de imbibición (Aparecida Dias et al 2011), pueden explicar el índice de velocidad de emergencia encontrado para cada especie (Tabla 3), ya que ellas influyen en la germinación de las semillas (Andrade y Pereria 1994). No obstante, para ambas especies la capacidad germinativa de al menos una semilla por tubete fue real al sembrar de 3 a 4 semilla con porcentajes de germinación superior al 65 %. El índice de velocidad de emergencia de

cada especie en este trabajo pudo estar influenciado por el vigor de las semillas ya que según trabajos de Navarro et al (2016) y Navarro et al (2010) éste determina la emergencia, crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas.

La fuente de materia orgánica utilizada en la elaboración de los sustratos marcó la diferencia para el IVE en *L leucocephala*. La influencia que el lodo de alcantarilla estabilizado tiene sobre el pH del suelo o sustrato (Caldeira et al 2014) pudo crear condiciones de acides en el medio y ejercer una acción escarificadora sobre la cubierta seminal dura que presenta esta especie, favoreciendo la germinación y como consecuencia el IVE. En Brasil el uso de lodo de alcantarrillado en la elaboración de sustrato para la producción de postura de especies nativa es una práctica reciente (Nascimento et al 2016; Pontes et al 2016) que se destaca por los aportes de macro y micronutrientes y los beneficios ambientales que genera (Caldeira et al 2013; Faria et al 2013).

El similar comportamiento de los indicadores fisiológicos y morfológicos de *E contortisiliquum* evidencian que los sustratos evaluados no interfirieron en su crecimiento y desarrollo. En todos los tratamientos de esta investigación el índice de calidad de la postura (IQD) fue superior a 0.2; valor mínimo recomendado en diferentes especies arbóreas (Gomes y Paiva 2012).

Según Freitas et al (2017) el índice de calidad de las posturas pondera los resultados de varios indicadores morfológicos empleados para evaluar el crecimiento y es considerado de importancia ya que en su cálculo considera la robustez y el equilibrio de la masa en la postura, lo que puede asegurar mejores supervivencias de las plantas después del trasplante.

Las posturas producidas de *L leucocephala* mostraron lento crecimiento hasta los 120 días después de la siembra. Los incrementos medios diarios para la altura de la planta y el diámetro del tallo fueron similares a cuando esta especie se estableció directamente en el campo por semilla botánica (Ruiz et al 2016). Según estos autores, el crecimiento lento es una característica intrínseca de la especie que puede provocar periodos prolongados de establecimiento y limita su generalización en sistemas silvopastoriles.

En todos los tratamientos el índice de robustez obtenido varió entre 2,44 y 5,20 para el periodo en estudio, e indicó un crecimiento no equilibrado de las posturas. En este sentido Carneiro (1995), señaló que cuando esto ocurre se producen posturas extremadamente delgadas como se apreció en esta investigación. Conforme este autor la relación (A/DT) debe estar entre 5,4 y 8,1 para demostrar equilibrio entre el crecimiento de la altura y el diámetro del tallo de las posturas. No obstante, en especies forestales Caldeira et al (2013) informaron índices de robustez superiores a los encontrados en estos trabajos por lo que se evidencia que los intervalos recomendados para este índice puede variar según la especie y los manejos agronómicos durante la producción de las posturas.

Conclusiones

- A partir de los resultados encontrados podemos concluir que la producción de posturas de *E contortisiliquum* puede desarrollarse en sustratos elaborados con lodo de alcantarilla y el estiércol bovino como fuentes de materia orgánica lo que contribuye a disminuir el impacto de ambos contaminantes.
- En todos los sustratos estudiados se corroboró el crecimiento inicial lento de *L leucocephala*.

Se recomienda estudios que estimulen el incremento de las tasas de crecimiento las posturas de *L leucocephala* en la fase de vivero.

Agradecimientos

A la Fundación de Amparo a Investigaciones en el estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por el apoyo financiero para la ejecución de esta investigación y por la concepción de bolsa de posdoctorado para el primer autor. De igual manera agradecemos al Laboratorio de Plantas Danhinas de Instituto de Ciências Agrárias de la Universidad Federal de Minas Gerais por facilitar la ejecución de dicho proyecto.

Referencias Bibliográficas

Alonso J 2011 Silvopastoral systems and their contribution to the environment. Cuban Journal of Agricultural Science 45(2):107-114, from <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/125>.

Alvarenga R.C, Viana M C M e Neto M M G 2012 O estado da arte na Intregação Lavoura-Pecuaria-Floresta no Brasil. Em: Integração Lavoura-Pecuaria-Floresta: potencialidades e técnicas de produção. Ed. Leonardo Davis Tuffi Santos. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais. pp. 139

Andrade A C S e Pereira T S 1994 Efeito do substrato e da temperatura na germinação e no vigor de sementes de cedro – *Cedrela odorata* L. (Meliaceae). Revista Brasileira de Sementes 16(1):34-40

Aparecida Dias M, Lopes J C, de Souza Neto J e Heberle E 2011 Influência da temperatura e substrato na germinação de sementes de jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* Berg). Idesia (Chile). 29(1):23–27, from https://scihub.tw/https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000100004&lng=en&nrm=iso&tng=en. doi: 10.4067/S0718-34292011000100004.

Arraújo A P e Sobrinho S 2011 Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) em diferentes substratos. Revista Árvore. 35(3):581–588, from <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n3s1/01.pdf>.

Caldeira M V, Favalessa M, Gonçalves E, Delarmelina W M, Santos F E V e Viera M 2014 Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. *Comunicata Scientiae*. 5(1):34–43, from <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/309>.

Caldeira M V, Favalessa M, Gonçalves E, Delarmelina W M, Santos F E V e Viera M 2014 Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 43(2):155-163, from <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/18795/14645>

Calle Z, Chará J D, Murgueitio E and Giraldo C 2014 Intensive silvopastoral systems: integration of sustainable cattle ranching. In: Ecological Restoration and Sustainable Agricultural Landscapes. Environmental Leadership and Training Initiative, New Haven, CT. Eds. Calle A, Calle Z, Garen E, Del Cid-Liccardi A, from http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/nr/sustainability_pathways/docs/Colombia_Murgueitio_Mixed_Species_Silvopastoral_systems.pdf

Carneiro J G A 1995 Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 451p.

Carvalho M L M, Vieira M G C e Pinho E R V 2000 Técnicas moleculares em sementes. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, Brasília, v.3, n.17, p. 44-47

Castillo I C, Valdés M A, Pérez J M and Mederos A 2013 Influence of three organic substrates in some morphological parameters of the plant *Moringa* (Whiteacacia) obtained in liveros container. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. v.1, p.23-32

Chará J, Camargo J C, Calle Z, Bueno L, Murgueitio E, Arias L, Dossman M y Molina C H 2015 Servicios ambientales de Sistemas Silvopastoriles Intensivos: mejora en propiedades del suelo y restauración ecológica. En: *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Eds. Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H, Eibl B Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.

Charles H, Aveyard P, Garnett T, Hall J W, Key T J, Lorimer J, Pierrehumbert R T, Scarborough P, Springmann M and Jebb S A 2018 Meat consumption, health, and the environment. *Science*. 361(6399), from <https://scihub.tw/10.1126/science.aam5324>

Dickson A, Leaf A L and Osmer J F 1960 Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. 36(sn):10-13, from <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc36010-1?src=recsys&>

Embrapa 1997 Manual de métodos de análise de solos. 2.ed.. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, (RJ). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf

Faria J C T, Caldeira M V W, Delarmelina W M, Lacerda L C e Gonçalves, E O 2013 Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. *Comunicata Scientiae*. 4(4):342-351, from <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/242>

Figliola M B, Oliveira E C e Piña-Rodrigues F C 1993 Análise de sementes. In: *Sementes florestais tropicais*. Eds. Aguiar, I. B.; Piña-Rodrigues, F. C.; Figliola, M. B. Brasília, DF: Abrates, p. 137-174.

Freitas E C, Paiva H N and Neto S N 2017 Growth and quality of *Cassia grandis* Linnaeus f. seedlings in response to phosphate fertilization and liming. *Ciência Florestal*, Santa Maria. 27(2):509-519, from <http://www.redalyc.org/pdf/534/53451635011.pdf>

Gaviria X, Rivera J E and Barahona R 2015 Nutritional quality and fractionation of carbohydrates and protein in the forage components of an intensive silvopastoral system. *Pastos y Forrajes*. 38(2):194-201, from <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n2/pyf07215.pdf>

Giménez A M, Hernández P, Ríos N y Calatayu F 2013 Crecimiento de árboles individuales de *Geoffrea decorticans* Burk., en un bosque del Chaco semiárido, Argentina. *Madera y Bosques*. 19(1):37-51, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000100004.

Gomes J M e Paiva H N 2012 Viveiros florestais: propagação sexuada. Viçosa: Editora UFV, 116 p

Köppen G 1936 Classificação climática de Köppen-Geiger. Contributors: Alchimista, Angrense, DCandido, Dante Raglione, Darwinius, Fasouzafreitas, Felipe Menegaz, Heitor C. Jorge, Juntas, LeonardoG, Manuel Anastácio, Marcelo-Silva, Ne8rd, OS2Warp, PatríciaR, Ramonne, Reynaldo, SangeYasha, 41 edições anônimas, from <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?oldid=16801300>

Lacerda M R, Passos M A, Rodrigues J J e Barreto L P 2006 Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth). *Revista Árvore*. v.30, p.163-170

Maguire J D 1962 Speed of Germination. In *Selection and Evaluation for Seedling Emergence And Vigor*. Crop Science. 2(2), 176. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

Murgueitio E, Barahona R, Xochilt M, Chará J D y Rivera J E 2016 Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*. 54(1). doi: 10.5377/ceiba.v54i1.2774, from <https://www.camjol.info/index.php/CEIBA/article/view/2774>

Murgueitio E, Chará J, Barahona R, Cuartas C y Naranjo J 2014 Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17(3):501-507, from <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1558/913>

Murgueitio E, Flores X, Calle Z, Chará J, Barahona R, Molina C H y Uribe F 2015 Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. En: *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Eds. Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H and Eibl . Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.

Nascimento A M, Duboc E, Santiago I S e Martini L V R 2016 Germinação de sementes de *Maclura tinctoria* em tubetes de jornal e substrato orgânico. *Cadernos de Agroecologia*. 11(2), from <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/21593>

Navarro M, Febles G and Torres V 2016 Utilization of the index of efficiency for estimating the influence of seed vigor on growth and seedling development Utilización del índice de eficiencia para estimar la influencia del vigor de las semillas en el crecimiento y desarrollo de plántulas', *Cuban Journal of Agricultural Science*. 50(4):593–605, from <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/664>

Navarro M, Febles G, Torres V y Noda A 2010 Efecto de la escarificación húmeda y seca en la capacidad germinativa de las semillas de *Albizia lebbek* (L.) Benth. Effect of moist and dry scarification on the germination capacity of seeds from *Albizia lebbek* (L.) Benth', *Pastos y Forrajes*. 33(2):1-7, from <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n2/pyf07210.pdf>

Nobrega M A, Pontes M D S and Santiago E F 2017 Incorporação do lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas nativas. *Acta Biomédica Brasiliensia*. 8(1):43-55, from <https://www.actabiomedica.com.br/index.php/acta/article/view/164>

Pontes M S, Santiago E F, Nobrega M A S, Santos J S and Motta I S 2016 Effects of fertirrigation with compost tea of sewage sludge on growth and physiological quality in seedlings of *Sesbania virgata* (Cav) *Cadernos de Agroecologia*. 11(2), from <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/21274>

Ruiz T E, Alonso J y Febles G 2016 Importancia del establecimiento y manejo en la estabilidad productiva de la biomasa en sistemas con leguminosas. IV Convención Internacional Agrodesarrollo 2016. *Memorias. Agroenergía para el desarrollo Agrario Sostenible*. 25 al 28 de octubre Varadero, Matanzas, Cuba ISBN 978-959-7138-23-5.

Shapiro S S and Wilk M B 1965 An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 (3-4): 591-611. doi:10.1093/biomet/52.3-4.591. JSTOR 2333709 MR 205384. p. 593

Torres C M, Jacovine L A, Neto S N, Fraisse C W, Soares C P, Neto F C, Ferreira L R, Zanuncio J C and Lemes P G 2017 Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Scientific Reports*. 7(16738), from <https://www.nature.com/articles/s41598-017-16821-4>

Received 18 March 2019; Accepted 25 September 2019; Published 2 November 2019

[Go to top](#)